Journal of Horticultural Science
Vol. 34, No.4, Winter 2021, P. 577-591
ISSN: 2008 - 4730

نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، ص. ۵۹۱-۵۷۷
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

مقاله علمی-پژوهشی

پاسخ‌های رشدی و فیزیولوژیکی خیار پیوندی به تنش خشکی

مریم حقیقی[1]*- آتنا شیبانی راد[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۲۱

چکیده

پژوهش حاضر به‌منظور بررسی اثرات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی پیوند در القا مقاومت به تنش خشکی در خیار در شرایط گلخانه‌ای انجام گرفت. آزمایش فاکتوریل شامل فاکتورهای (گیاهان پیوندی و غیرپیوندی و سطح خشکی بر اساس پتانسیل اسمزی: شاهد، ۰/۴- و ۰/۸- مگاپاسکال) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. بذور خیار بومی اصفهان به‌عنوان پیوندک بر روی پایه فرو پیوند حفره‌ای انجام گرفت. نتایج افزایش مقاومت به تنش و تولید توده زنده بیش‌تر با افزایش جذب و توسعه ریشه‌ها در خیارهای پیوند شده را نشان داد. همچنین محتوای پتاسیم در گیاهان پیوندی نسبت به گیاهان غیرپیوندی کاهش یافت. طیف وسیعی از خصوصیات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی تحت تأثیر پیوند و اثرات متقابل پایه × پیوندک قرار گرفتند. برخی از این ویژگی‌ها سبب بهبود روابط آبی و رشد و نمو گیاه در شرایط تنش گشت. شاخص‌های تبادلات گازی همانند فتوسنتز، تعرق و هدایت روزنه‌ای در گیاهان غیرپیوندی از گیاهان پیوندی پایین‌تر بود. با افزایش معنی‌دار پرولین در گیاهان پیوندی در مقایسه با گیاهان غیرپیوندی و همچنین افزایش بیش‌تر پتاسیم در خشکی ۰/۸- مگاپاسکال در گیاهان پیوندی در مقایسه با گیاهان غیرپیوندی به نظر می‌رسد که مکانیسم تحمل به خشکی اعمال‌شده پایه از طریق حفظ تعادل اسمزی و برقراری هموستازی پتاسیم می‌باشد. درنهایت می‌توان پیوند را به‌عنوان یک روش کارآمد جهت القا تحمل به تنش خشکی و افزایش عملکرد خیار توصیه کرد.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، تبادلات گازی، سبزی گلخانه‌ای

مقدمه

خیار ازجمله محصولاتی است که در سرتاسر جهان کشت و کار می‌شود و بخش عمده‌ای از تولید آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک انجام می‌گیرد و یکی از مشکلات اصلی پرورش گیاهان در این اقلیم ها وجود تنش خشکی می‌باشد (۲۶). ایران با متوسط بارندگی ۲۴۰ میلی‌متر در سال جزو این نواحی می‌باشد. تنش خشکی یکی از مهم‌ترین معضلات در ایران می‌باشد زیرا غالباً توزیع بارندگی‌ها در طول فصل رشد ناکافی و غیر متوازن می‌باشد و پیش از تکمیل رشد گیاه این بارندگی‌ها متوقف می‌گردد (۱۰). در اثر تنش خشکی سه تغییر مهم در روابط آبی گیاه اتفاق می‌افتد که شامل تغییرات اسمزی، کاهش تورژسانس و کاهش خاصیت ارتجاعی دیواره سلولی است (۲۵). این تغییرات نتایج کاهش آب در گیاه است و کمبود آب از طریق تأثیر بر میزان باز بودن روزنه‌ها، فعالیت گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۲۷). یکی از زمینه‌های تحقیقاتی حیاتی برای پیشبرد کشاورزی درک فرآیندهای ژنتیکی و بیوشیمیایی تنظیم‌کننده مقاومت گیاهان نسبت به تنش خشکی می‌باشد (۸). به‌منظور حفظ فرایند جذب آب توسط گیاه توسعه سیستم ریشه‌ای یک امر ضروری می باشد. مکانیسم‌های دخیل در توسعه ریشه‌های در معرض تنش کم‌آبی توسط شارپ و همکاران (۲۳) بیان‌شده است و شامل تغییرات در ابعاد نواحی رشد ریشه، وضعیت دیواره سلولی، میزان ذخیره اسید آبسزیک و تنظیم جریان اسمزی می‌باشد. رشد ریشه‌ها نتیجه تقسیم و طویل شدن سلول‌ها است که خود نیازمند جذب پیوسته آب و حفظ پتانسیل تورگر می‌باشد که این امر توسط شیب پتانسیل آب در طول غشا سلولی به کمک مواد محلول درون‌سلولی کنترل می‌گردد (۵).

پیوند به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مهارت‌های باغبانی به‌طور گسترده‌ای برای بهبود رشد و افزایش مقاومت گیاهان نسبت به تنش‌های زیستی و غیر زیستی مورد استفاده می‌باشد (۲۱). کارایی مصرف آب در پیوندک را می‌توان با پیوند آن بر روی پایه‌ای که متحمل به خشکی است بهبود بخشید (۱۹، ۲۰ و ۱۱). پیش‌تر در مطالعات انجام‌گرفته بر روی لوبیا (۱۹)، سویا (۲۲) و انگور (۲۰)، القا تحمل به خشکی در اثر پیوند مشاهده گردیده است. همچنین

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشیار و دانشجوی دکتری گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
(*- نویسنده مسئول: Email: mhaghighi@cc.iut.ac.ir)
DOI: 10.22067/jhorts4.v34i4.81113

هندوانه‌های پیوند شده بر روی پایه کدو تنبل در شرایط کمبود آبیاری تا ۶۰ درصد عملکرد بازارپسندانه بالاتری را نسبت به گیاهان غیر پیوندی نشان دادند (۱۸). گیاهان برای تحمل شرایط کم‌آبی مکانیسم‌های متفاوتی از قبیل تغییر در فتوسنتز و رشد سلول‌ها یا القای بیان ژن‌های خاصی برای حفظ جذب آب و پتانسیل تورگر در پیش می‌گیرند (۶).

این پژوهش به‌منظور بررسی اثرات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی پیوند در القا تحمل به تنش خشکی در خیار بومی اصفهان در گلخانه ای انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان در زمستان ۱۳۹۴ به‌صورت آزمایش فاکتوریل شامل فاکتورهای (گیاهان پیوندی و غیرپیوندی و سطح خشکی بر اساس پتانسیل اسمزی: شاهد، ۰/۴- و ۰/۸- مگاپاسکال) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. تیمارهای خشکی بر اساس مقادیر مختلف پلی‌اتیلن گلیکول (۶۰۰۰) بر اساس فرمول زیر محاسبه و اعمال گردید.

$$\psi_{IT} = -MIRT$$

ψ_{IT}: پتانسیل اسمزی، M: مولاریته محلول ،I: شاخص تفکیک، R: ثابت گازها، T: دما بر اساس کلوین

در این آزمایش از بذور خیار بومی اصفهان به‌عنوان پیوندک و گیاهان پیوند نشده استفاده شد. به‌منظور انجام پیوند نیز ابتدا بذور پایه فرو را در مخلوطی از ماسه و خاک باغچه کاشته و سپس بعد از این که بوته‌ها به مرحله یک‌برگی رسیدند، بر روی آن‌ها پیوند حفره‌ای انجام گرفت. پس از انجام عملیات پیوند، همه گیاهان دو روز در داخل یک اتاقک تاریک با رطوبت نسبی ۹۹ درصد و دمای ۲۵-۲۶ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و سپس به یک تونل کوچک با رطوبت نسبی ۹۵ درصد و دمای ۲۹-۲۷ انتقال یافتند. بوته‌های پیوندی به مدت ۱۰ روز در این محیط قرار گرفتند و سپس عمل مقاوم‌سازی به مدت ۵ روز بر روی آن‌ها اعمال گردید. تیمار خشکی ۲ هفته بعد از انتقال گیاهان پیوندی به گلدان اعمال شد که بعد از اعمال تنش، گیاهان در گلخانه، در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۵ درصد قرار داده شدند و آبیاری آن‌ها به‌صورت روزانه با غلظت‌های مختلف پلی‌اتیلن گلیکول انجام گرفت. سه هفته بعد از اعمال تیمارها شاخص‌های مورد نظر اندازه‌گیری شد.

شاخص‌های تبادلات گازی توسط دستگاه پرتابل سنجش فتوسنتز (LI, 6100 شرکت لای کورن، ایالات‌متحده آمریکا) اندازه گیری شد. بدین منظور برگ‌های میانی کاملاً توسعه یافته با سه تکرار جهت اندازه‌گیری صفات مورد نظر انتخاب گردید و تمامی اندازه‌گیری‌ها در ساعت ۱۱ صبح ثبت گردید. هدایت مزوفیلی از تقسیم کردن فتوسنتز به غلظت دی‌اکسیدکربن درون روزنه‌ای بدست آمد. به منظور تعیین کارایی مصرف آب‌فتوسنتزی میزان فتوسنتز به هدایت روزنه‌ای تقسیم شده است. شاخص سبزینگی نیز توسط دستگاه کلروفیل سنج (SPAD) (مدل ۵۰۲ ساخت شرکت مینولتا، ژاپن) و میزان فلورسنس کلروفیل توسط دستگاه فلورومتر (مدل OS-30 ساخت کشور انگلستان) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری پرولین به روش *بتس* و همکاران (۳) و قرائت در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکترو فتومتر (مدل UV-600A) انجام گرفت.

به‌منظور اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدان و محتوای فنول از برگ عصاره گیری شد سپس برای اندازه‌گیری آنتی‌اکسیدان برگ به شیوه DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) در طول‌موج ۵۱۷ نانومتر از دستگاه اسپکترو فتومتر (مدل UV-600A ساخت کشور انگلستان) استفاده شد و غلظت نهایی بر اساس فرمول زیر محاسبه شد (۲۸).

جذب کنترل÷(جذب کنترل- جذب نمونه)=درصد ممانعت کنترلی

اندازه‌گیری فنول نیز به شیوه فولین سیو کالتئو در طول‌موج ۷۶۵ نانومتر انجام گرفت (۲۴). به‌منظور اندازه‌گیری آنزیم کاتالاز، پراکسیداز و پروتئین کل بافر استخراج عمومی برای تمامی آنزیم‌ها و همچنین بافر فسفات عمومی به‌منظور تهیه بافر واکنش برای تمامی آنزیم‌ها تهیه گردید. حدود ۲۰۰ میلی‌گرم از برگ‌های توسعه‌یافته گیاه نمونه تهیه‌کرده، آن‌ها را توسط نیتروژن مایع تثبیت نموده سپس عصاره آن‌ها را به کمک بافر استخراج سانتریفوژ کرده سپس میزان جذب آنزیم کاتالاز در طول‌موج ۲۴۰ و آنزیم پراکسیداز در طول‌موج ۴۷۰ و درنهایت پروتئین کل به روش برادفورد در طول‌موج ۵۹۵ نانومتر اندازه گرفته شد (۴).

داده‌ها در نرم‌افزار اکسل طبقه‌بندی و با برنامه آماری Statestix 8 آنالیز شدند و مقایسه میانگین داده‌ها به کمک آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج

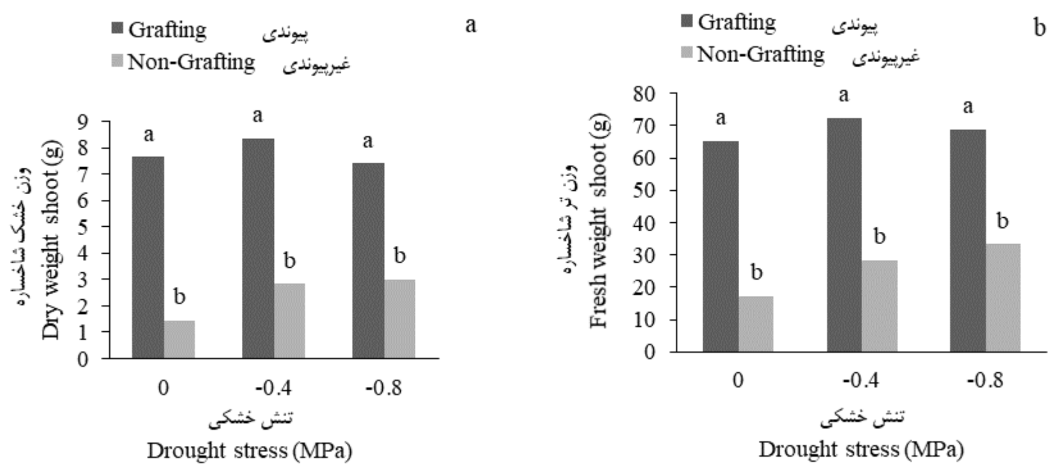
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها برهمکنش میان سطوح پتانسیل آب و پیوند را معنی‌دار نشان دادند اما اثرات ساده در میان صفات مختلف روند متفاوتی را نشان دادند (جدول ۱). بررسی اثرات اصلی پیوند نمایانگر افزایش معنی‌داری تا بیش از دو برابر در وزن‌تر و خشک شاخساره و ریشه در گیاهان پیوندی در مقایسه با گیاهان غیر پیوندی می‌باشد. علاوه بر این طول ساقه نیز به‌طور معنی‌داری در گیاهان پیوندی افزایش یافت. اما پتانسیل آب برگ و محتوای پتاسیم به‌طوری معنی‌داری در گیاهان پیوندی به ترتیب ۷۷/۹ و ۱۷/۷ درصد کاهش را نشان دادند. تکنیک پیوند بر میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای فنول کل و پروتئین تغییر معنی‌داری را ایجاد نکرد (جدول

۲). شاخص سبزینگی افزایش معنی‌داری را تا ۳۰ درصد در گیاهان پیوندی نسبت به گیاهان غیر پیوندی نشان داد. بااین‌حال میزان فلورسنس کلروفیل میان گیاهان پیوندی و غیر پیوندی تفاوت معنی داری را نشان نداد. با این‌وجود میزان فتوسنتز تا بیش از ۵۶ درصد در گیاهان غیرپیوندی نسبت به گیاهان پیوندی مقادیر بالاتری را نشان داد. تغییرات تعرق و هدایت روزنه‌ای روندی مشابه با فتوسنتز نشان دادند به‌طوری‌که به ترتیب ۵۸ و ۶۶ درصد در گیاهان پیوندی از مقادیر آن‌ها کاسته شد. در میان شاخص‌های تبادلات گازی پیوند تأثیر معنی‌داری را بر کارایی مصرف آب فتوسنتزی و هدایت مزوفیلی ایجاد نکرد. فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز، پراکسیداز و پروتئین کل نیز تحت تأثیر پیوند قرار نگرفتند (جدول ۲).

سطوح خشکی اعمال‌شده تفاوت معنی‌داری را در میزان وزن‌تر و خشک و شاخساره ایجاد نکرد. هرچند وزن‌تر ریشه در تیمار ۰/۸- مگاپاسکال تا ۳۶ درصد افزایش معنی‌داری را نسبت به شاهد نشان داد؛ اما تیمارهای خشکی تفاوت معنی‌داری را در وزن خشک‌ریشه و طول شاخساره ایجاد نکردند. پتانسیل آب برگ در تیمار ۰/۴- مگاپاسکال تفاوت معنی‌داری را نسبت به شاهد نشان نداد اما در تیمار خشکی ۰/۸- مگاپاسکال بیش از ۸۰ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. بالاترین مقدار پتاسیم در تیمار شاهد دیده شد و بعدازآن با حدود ۳۰ درصد کاهش در تیمارهای خشکی اعمال‌شده مشاهده گردید. محتوای فنول و فعالیت آنتی‌اکسیدانی نیز تحت تأثیر سطوح خشکی مورداستفاده قرار نگرفتند. مقدار پرولین در تیمار شاهد دارای پایین‌ترین مقدار خود بود و در دو تیمار دیگر با حدود ۲۰ درصدافزایش مقادیر بالاتری را نشان داد (جدول ۵). در میان خصوصیات فتوسنتزی اندازه‌گیری شده تنها شاخص سبزینگی و میزان فلورسنس کلروفیل تحت تأثیر سطوح خشکی قرار گرفتند به‌طوری‌که شاخص سبزینگی در تیمار ۰/۸- مگاپاسکال نسبت به شاهد ۳۲ درصد افزایش یافت و برخلاف آن فلورسنسی کلروفیل در تیمار شاهد دارای حداکثر مقدار خود بود و در دو تیمار دیگر ۳/۵ درصد کاهش یافت. شاخص‌های تبادلات گازی از قبیل مقدار فتوسنتز، تعرق، هدایت روزنه‌ای و مزوفیلی و کارایی مصرف آب فتوسنتزی تحت تأثیر سطوح خشکی اعمال‌شده قرار نگرفتند. فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر کاتالاز و پراکسیداز و پروتئین کل نیز تحت تأثیر سطوح خشکی قرار نگرفتند (جدول ۲).

مقدار وزن‌تر و خشک در کلیه تیمارهای پیوند شده مقادیری تا بیش از ۲ برابر را نسبت به گیاهان غیرپیوندی نشان دادند اما تیمارهای خشکی اعمال‌شده اثر معنی‌داری را در میزان وزن تر و خشک شاخساره ایجاد نکردند. هرچند که ازنظر آماری تیمارهای خشکی تفاوت معنی‌داری را ایجاد نکردند اما روند صعودی در مقدار وزن تر و خشک شاخساره با افزایش سطوح خشکی مشاهده می‌گردد (شکل ۱).

بیش‌ترین مقدار وزن‌تر ریشه در گیاهان پیوندی دیده شد به‌طوری‌که بالاترین مقدار آن در خشکی ۰/۸- مشاهده شد. در گیاهان غیرپیوندی در مقایسه با گیاهان پیوندی وزن‌تر ریشه کاهش معنی‌داری را نشان داد به‌طوری در هر یک از سطوح خشکی (۰، ۰/۴- و ۰/۸-) اعمال‌شده به ترتیب ۶۴، ۶۳ و ۳۶ درصد کاهش را نشان دادند. بالاترین مقدار وزن خشک‌ریشه در گیاهان پیوندی تیمار شاهد مشاهده گردید بعدازآن با حدود ۳۳ درصد کاهش در تیمارهای (-0.4 MPa×G، -0.8MPa×G و -0.8 MPa×N) مشاهده شد. پایین‌ترین مقادیر وزن خشک اندام هوایی و ریشه در گیاهان غیرپیوندی تیمار شاهد دیده شد (شکل ۲).



شکل ۱- اثر متقابل تنش خشکی × پیوند بر وزن تر (a) و خشک شاخساره (b) خیار

Figure 1- Interaction effect of drought stress ×grafting on dry (a) and fresh weight of cucumber shoot (b). (LSD, *p≤0.05*)

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر پیوند و تنش خشکی بر شاخص‌های رشدی، فتوسنتزی و بیوشیمیایی بوته خیار

Table 1- ANOVA for the effect of grafting and drought stress on growth, photosynthesic and biochemical characteristics of cucumber plant

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	پرولین Proline	فنول Phenol	فعالیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant activity	پتاسیم Potassium	پتانسیل آب برگ Leaf water potential	طول ساقه Stem length	وزن خشک‌ریشه Dry weight root	وزن‌تر ریشه Fresh weight root	وزن خشک شاخساره Dry weight shoot	وزن‌تر شاخساره Fresh weight shoot
پیوند Grafting	1	0.1^{ns}	0.00001^{ns}	0.65^{ns}	1.25*	11.63*	0.89*	1.64*	7.82*	15.69*	9.11*
پتانسیل آب Water potential	2	0.51*	0.00002^{ns}	0.28^{ns}	1.25*	10.07*	0.12*	0.09^{ns}	1.71*	0.59^{ns}	0.48^{ns}
پیوند × پتانسیل آب Grafting × Water potential	2	4.22*	0.003*	0.014*	0.13*	10.008*	0.51*	0.32*	0.35*	0.64*	0.41*
خطا Error	14	0.01	0.00009	0.16	0.04	0.13	0.06	0.03	0.55	0.24	0.19
ضریب تغییرات CV (%)		15.47	0.65	25.72	10.55	22.88	17.01	31.26	36.04	41.213	29.05

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	فعالیت کاتالاز Catalase activity	کارایی مصرف آب فتوسنتزی Photosynthetic water use efficiency	هدایت مزوفیلی Mesophyll conductance	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	تعرق Transpiration	فتوسنتز Photosynthesis	فلورسنس کلروفیل Chlorophyll fluorescence	شاخص سبزینگی Spad value	پروتئین کل Total protein	فعالیت پراکسیداز Peroxidase activity
پیوند Grafting	1	0.01^{ns}	0.01^{ns}	17.68^{ns}	10.54*	12.56*	0.05*	0.006^{ns}	1.98*	238.83^{ns}	0.2^{ns}
پتانسیل آب Water potential	2	0.11^{ns}	0.18^{ns}	0.32^{ns}	0.15^{ns}	0.52^{ns}	0.003^{ns}	0.009*	0.82*	315.84^{ns}	0.24^{ns}
پیوند × پتانسیل آب Grafting × Water potential	2	0.003*	0.52*	2.47*	0.8*	0.52*	0.004*	0.005*	0.31*	154.44*	0.66*
خطا Error	14	0.04	0.33	0.67	0.32	0.85	0.001	0.002	0.04	431.78	0.23
ضریب تغییرات CV (%)			31.79	37.49	35.80	28.02	48.70	2.04	14.98	12.58	3.41

* و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ درصد و غیرمعنی‌دار

* and ^{ns}: Significant at 5% of probability level and no significant, respectively.

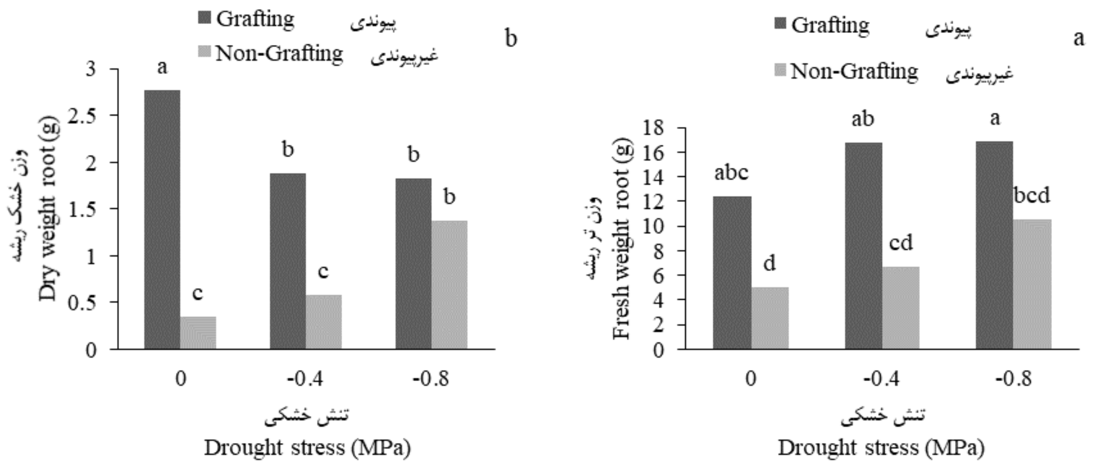
جدول ۲- اثر پیوند و تنش خشکی بر خصوصیات رشدی، فتوسنتزی و بیوشیمیایی بوته خیار

Table 2- Effect of grafting and drought stress on growth, photosynthesic and biochemical characteristics of cucumber plant

تیمار Treatment	پرولین Proline (μmol^{-1} mgFW)	فنول Phenol (mg /g)	فعالیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant activity (%)	پتاسیم Potassium (mgl^{-1})	پتانسیل آب برگ Leaf water potential (kgm^{-2})	طول ساقه Stem length (cm)	وزن خشک‌ریشه Dry weight root (g)	وزن‌تر ریشه Fresh weight root (g)	وزن خشک شاخساره Dry weight shoot (g)	وزن‌تر شاخساره Fresh weight shoot (g)
پیوندی Grafting	0.02a	0.16a	25.48a	192.2b	2.88b	65.78a	2.15a	15.33a	7.8a	68.73a
غیرپیوندی Non grafting	0.01a	0.16a	31.41a	233.75a	13.07a	50b	0.77b	7.44b	2.41b	26.20b
شاهد Control	0.01b	0.16a	33.25a	264.01a	11.40a	56.48a	1.56a	8.73a	4.53a	41.14a
-0.4 MPa	0.02ab	0.16a	25.69a	186.70b	10.47a	62.75a	1.23a	1.70ab	5.59a	50.17a
-0.8 MPa	0.02a	0.16a	26.39a	188.22b	2.06b	54.43a	1.60a	13.72a	5.19a	51.09a
تیمار پیوند Grafting treatment	پروتئین کل Total protein (mg/g FW)	فعالیت پراکسیداز Peroxidase activity (umol/min gFW)	فعالیت کاتالاز Catalase activity (umol/min g FW)	کارایی مصرف آب فتوسنتزی Photosynthetic water use efficiency ($\mu mol\ CO_2$ $mmol\ H_2O$)	هدایت مزوفیلی Mesophyll conductance ($mmolm^{-2}\ s^{-1}$)	هدایت روزنه Stomatal Conductance ($mmolH_2O$ m^2s^1)	تعرق Transoiration ($mmolH_2Om^2s^1$)	فتوسنتز Photosynthesis ($\mu molCO_2m^2$ s^{-1})	فلورسنس کلروفیل Chlorophyll fluorescence (Fv/Fm)	شاخص سبزینگی value Spad
پیوندی Grafting	2.55a	1.09a	0.88a	57.75a	0.41a	0.10b	4.30b	5.93 b	0.81b	28.29a
غیرپیوندی Non-grafting	2.84a	0.88a	0.82a	46.49a	0.37a	0.31a	10.40a	13.53 a	0.84b	19.74b
شاهد Control	17.47a	1.15a	0.79a	48.73a	0.40a	0.21a	7.28a	8.3a	0.85a	20.20b
-0.4 MPa	31.86a	1.06a	1.01a	48.93a	0.41a	0.23a	8.01a	10.58a	0.82b	21.83b
-0.8 MPa	26.26a	0.76a	0.75a	58.69a	0.35a	0.17a	6.75a	10.3a	0.82b	30.01a

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

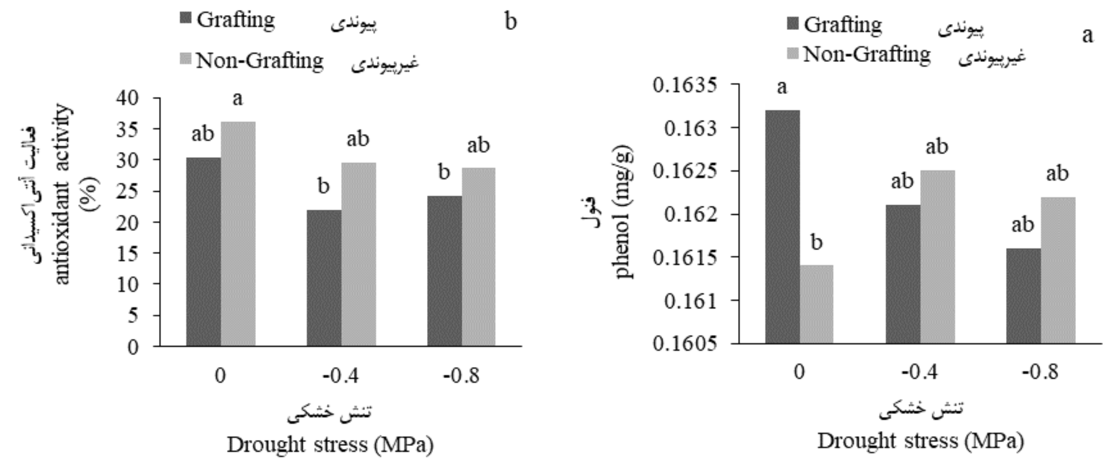
Means with similar letters in each column are no significantly different at 5% of probability level based on LSD test.



شکل ۲- اثرمتقابل تنش خشکی × پیوند بر وزن تر (a) و خشک ریشه خیار (a)

Figure 2- Interaction effect of drought stress ×grafting on fresh weight of root(a) and dry weight of cucumber root (b). (LSD, *p≤0.05*)

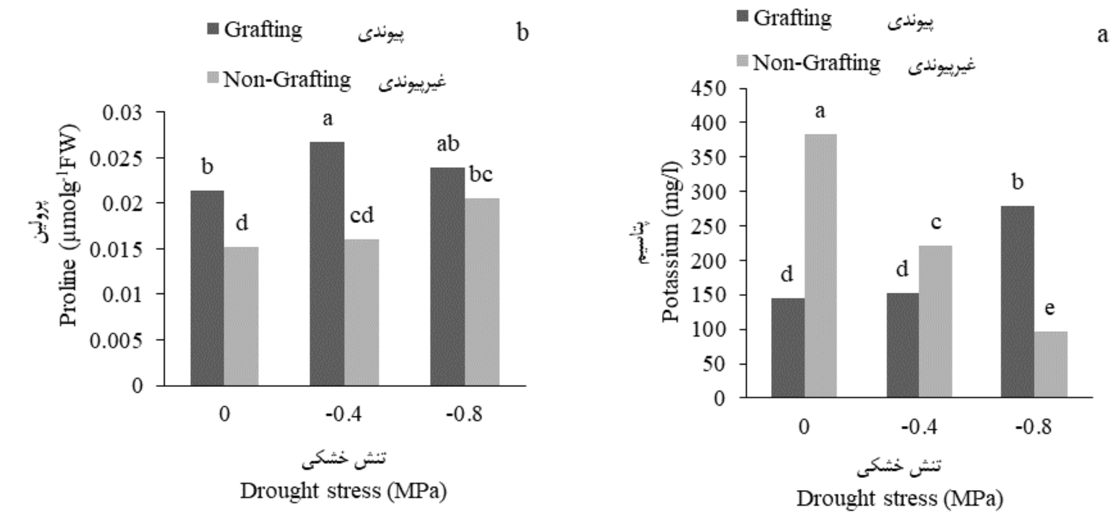
فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاهان غیرپیوندی از گیاهان پیوندی بیش‌تر بوده است لکن تفاوت معنی‌داری میان آن‌ها در سطوح خشکی مشابه دیده نشد. در میزان ترکیبات فنولی تنها تفاوت معنی‌دار در تیمار شاهد میان گیاهان غیرپیوندی و پیوندی بود که به‌طور قابل‌توجهی در گیاهان پیوندی نزدیک به ۲/۵ برابر محتوای فنولی بیش‌تری مشاهده گردید (شکل ۳).



شکل ۳- اثرمتقابل تنش خشکی × پیوند بر فنول کل (a) و فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگ (b) خیار

Figure 3- Interaction effect of drought stress ×grafting on phenol (a) and antioxidant activity leaf (b) of cucumber. (LSD, *p≤0.05*)

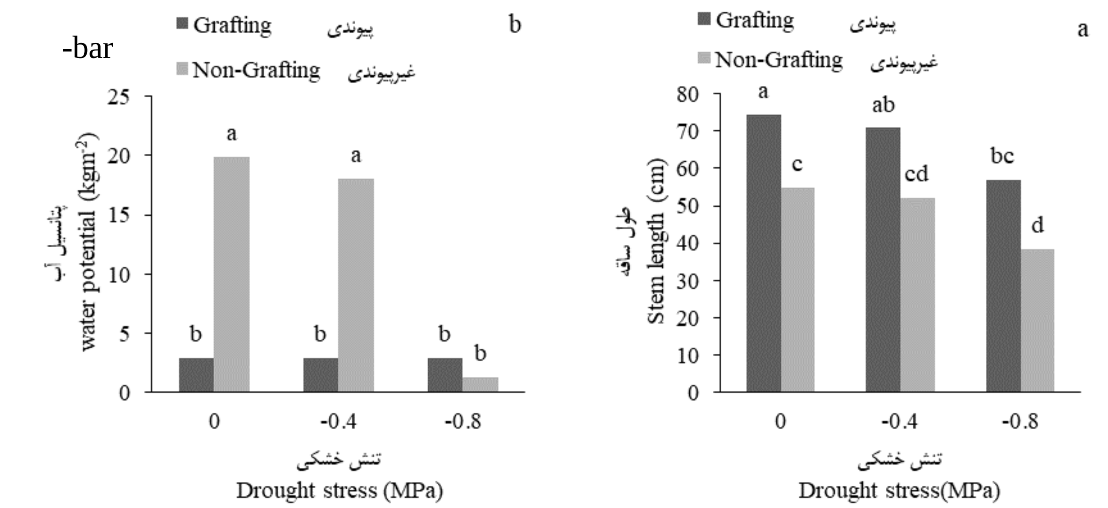
بالاترین محتوای پتاسیم در گیاهان غیرپیوندی فاقد تیمار خشکی مشاهده شد بعد از آن با ۲۶ درصدکاهش در گیاهان پیوندی تیمار ۰/۸- مگاپاسکال دیده شد. در میان گیاهان غیرپیوندی با افزایش سطح خشکی محتوای پتاسیم روند نزولی را نشان داد به‌طوری‌که پایین‌ترین مقدار آن در تیمار خشکی ۰/۸- مگاپاسکال با ۷۳ درصد کاهش نسبت به شاهد دیده شد. در گیاهان غیرپیوندی محتوای پرولین به‌طور معنی-داری با افزایش سطوح خشکی اعمال‌شده افزایش یافت اما بالاترین مقدار آن در تیمار خشکی۰/۴- مگاپاسکال ×پیوندی دیده شد. بعد از آن با کاهش معنی‌داری در تیمار شاهد گیاهان پیوندی بیش‌ترین مقدار پرولین مشاهده شد (شکل ۴).



شکل ٤- اثرمتقابل تنش خشکی × پیوند بر میزان پتاسیم (a) و پرولین برگ (b) خیار

Figure 4- Interaction effect of drought stress × grafting on potassium (a) and proline leaf (b) content of cucumber. (LSD, *p≤0.05*)

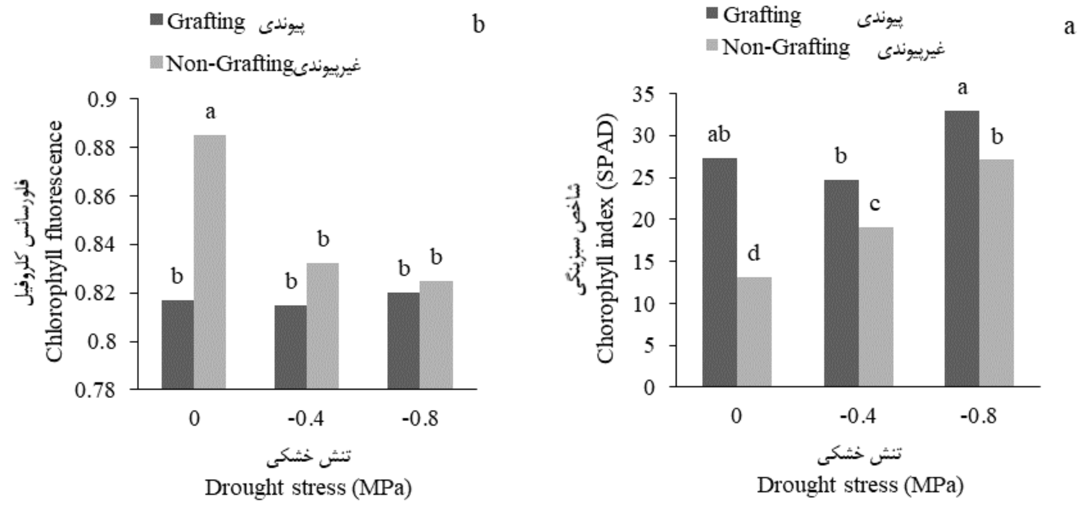
در گیاهان غیرپیوندی تیمارهای خشکی اعمال‌شده تفاوت معنی داری را در میزان پتانسیل اسمزی نشان ندادند. بالاترین مقدار پتانسیل اسمزی در تیمار فاقد خشکی و ۰/۴- مگاپاسکال و در گیاهان غیرپیوندی مشاهده شد. به‌طور معنی‌داری در کلیه تیمارها خشکی از ارتفاع گیاهان کاسته است اما در کل گیاهان پیوندی در مقایسه با گیاهان غیرپیوندی ارتفاع بیش‌تری را داشتند به‌طوری‌که بالاترین مقدار آن در تیمار شاهد پیوندی، سپس با ۲۸ درصد کاهش در گیاهان پیوندی۰/۴- مشاهده گردید (شکل ۵).



شکل ۵- اثر متقابل تنش خشکی × پیوند بر طول ساقه (a) و پتانسیل آب برگ (b) خیار

Figure 5- Interaction effect of drought stress ×grafting on stem length (a) and leaf water potential (b) of cucumber. (LSD, *p≤0.05*)

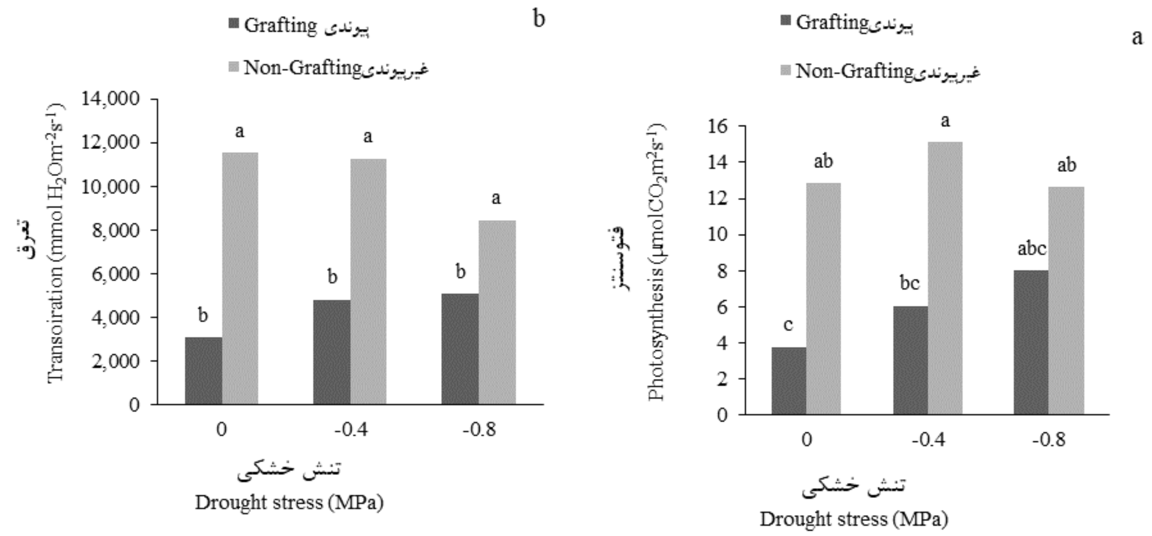
حداکثر مقدار فلورسنسی کلروفیل در تیمار شاهد غیرپیوندی دیده شد، سایر تیمارها با یکدیگر تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند و ۸ درصد کاهش را نسبت به شاهد غیرپیوندی نشان دادند. شاخص سبزینگی در میان گیاهان غیرپیوندی با افزایش سطوح خشکی افزایش یافت اما در کل مقادیر پایین‌تری نسبت به گیاهان پیوندی داشتند به‌طوری‌که بالاترین مقادیر در تیمار شاهد پیوندی و ۰/۸- مگاپاسکال × پیوندی دیده شد و پایین‌ترین مقدار شاخص سبزینگی در شاهد غیرپیوندی با ۵۶ درصد کاهش نسبت به شاهد پیوندی مشاهده شد (شکل ۶).



شکل ٦- اثر متقابل تنش خشکی × پیوند بر شاخص سبزینگی (a) و فلورسنس کلروفیل برگ (b) خیار

Figure 6- Interaction effect of drought stress ×grafting on SPAD value (a) and chlorophyll fluorescence leaf (b) of cucumber. (LSD, *p≤0.05*)

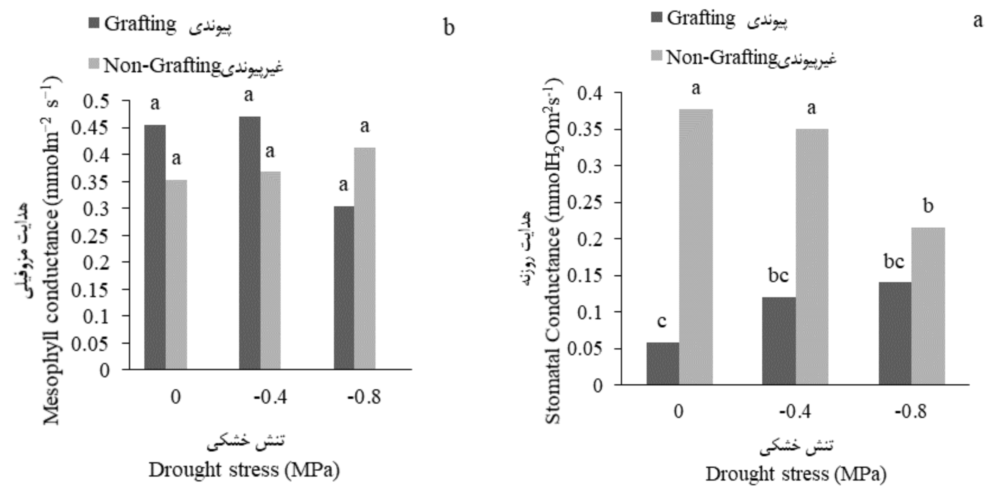
نرخ فتوسنتز در گیاهان پیوندی به‌طور معنی‌داری نسبت به گیاهان غیرپیوندی پایین‌تر است. در مقایسه میان گیاهان غیرپیوندی تیمارهای خشکی اعمال‌شده تفاوت معنی‌داری را ایجاد نکردند همچنین گیاهان پیوندی نیز با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند؛ اما در مقایسه میان آن‌ها حداکثر مقدار فتوسنتز در تیمار ۰/۴- × غیرپیوندی و حداقل مقدار آن با ۷۴ درصد کاهش در شاهد پیوندی نسبت به شاهد غیر پیوندی مشاهده شد. روندی مشابه در میزان تعرق نیز دیده شد که حداکثر مقادیر تعرق در تمامی گیاهان غیرپیوندی و حداقل مقادیر با ۸۰ درصد کاهش در تمامی گیاهان پیوندی مشاهده شد و در مقایسه گیاهان پیوندی با یکدیگر و گیاهان غیرپیوندی باهم تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۷).



شکل ۷- اثر متقابل تنش خشکی × پیوند بر میزان فتوسنتز (a) و تعرق برگ (b) خیار

Figure 7- Interaction effect of drought stress × grafting on photosynthesis (a) and transoiration (b) rates of cucumber leaf. (LSD, *p≤0.05*)

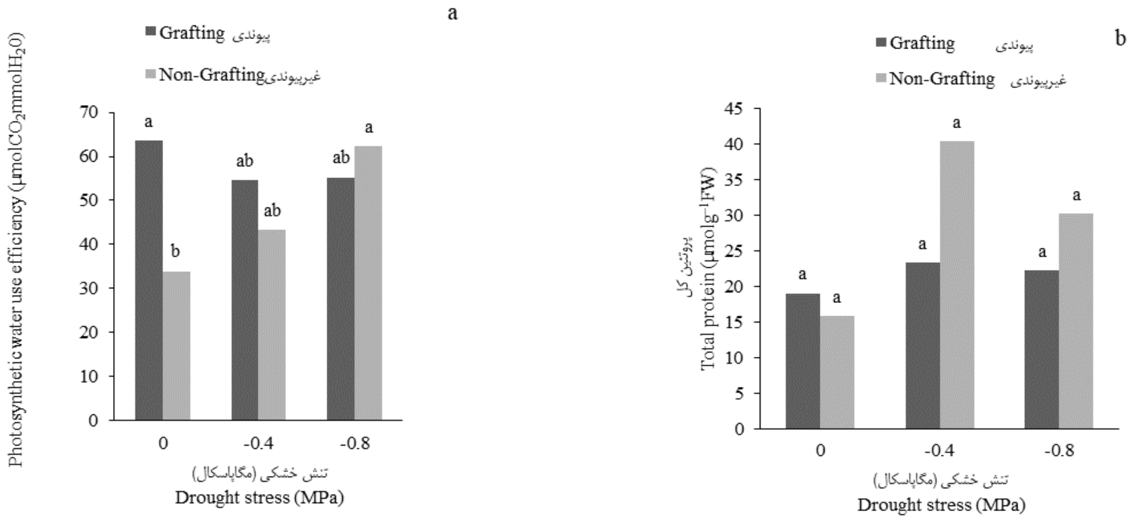
هدایت مزوفیلی تحت تأثیر هیچ‌یک از تیمارهای اعمال‌شده قرار نگرفت و در میان تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد؛ اما هدایت روزنه‌ای روند خاصی را نشان نداد لکن هدایت روزنه‌ای در گیاهان پیوندی از گیاهان غیرپیوندی کم‌تر بود به‌طوری‌که بالاترین مقادیر در تیمارهای شاهد غیرپیوندی و ۰/۴- مگاپاسکال × غیرپیوندی سپس با بیش از ۸۵ درصد کاهش در تیمار شاهد پیوندی مشاهده شد (شکل ۸).



شکل ۸- اثر متقابل تنش خشکی × پیوند بر میزان هدایت روزنه‌ای (a) و هدایت مزوفیلی برگ (b) خیار

Figure 8- Interaction effect of drought stress ×grafting on stomatal conductance (a) and mesophyll conductance leaf (b) rates of cucucmber. (LSD, $p\leq0.05$)

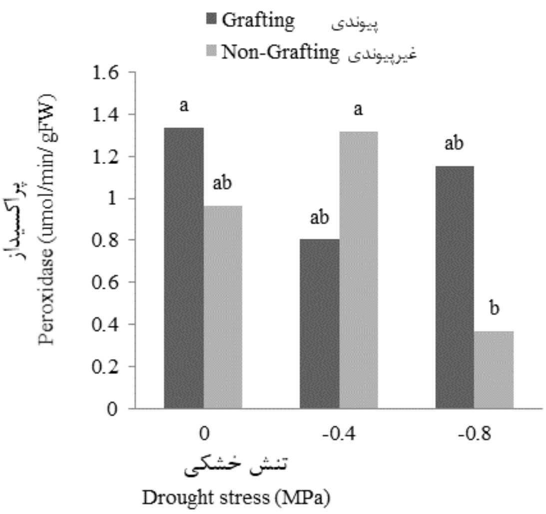
تیمارهای اعمال‌شده تفاوت معنی‌داری را در میزان پروتئین کل ایجاد نکرد. حداکثر مقدار کارایی مصرف آب فتوسنتزی در تیمارهای ۰/۸- مگاپاسکال × غیرپیوندی و شاهد پیوندی و کم‌ترین مقدار آن در تیمار شاهد غیرپیوندی با ۴۶ درصد کاهش مشاهده گردید (شکل ۹).



شکل ۹- اثر متقابل تنش خشکی × پیوند بر میزان کارایی مصرف آب فتوسنتزی (a) و پروتئین کل برگ (b) خیار

Figure 9- Interaction effect of drought stress ×grafting on photosynthetic water use efficiency (a) and total protein leaf (b) rates of cucumber. (LSD, $p\leq0.05$)

فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی کاتالاز تحت تأثیر تیمارهای اعمال‌شده قرار نگرفت. فعالیت پراکسیداز روند مشخصی را نشان نداد. حداکثر مقدار فعالیت پراکسیداز در تیمارهای شاهد پیوندی و ۰/۴- مگاپاسکال× غیرپیوندی و حداقل مقدار با ۶۰ درصد کاهش نسبت به شاهد غیرپیوندی در خشکی ۰/۸- مگاپاسکال غیرپیوندی مشاهده شد. سایر تیمارها با یکدیگر تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- اثر متقابل تنش خشکی × پیوند بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز برگ خیار

Figure 10- Interaction effect of drought stress ×grafting on peroxidase activity of cucumber leaf. (LSD, *p≤0.05*)

به‌طور کلی در این تصاویر زرد شدن و اضمحلال بیش‌تر تخمدان را در تیمارهای پیوند شده بیش از تیمارهای غیر پیوندی می‌توان مشاهده نمود (شکل ۱۱).

بحث

با توسعه بحران‌های آب و کاهش منابع آبی تنش خشکی ازجمله تنش‌های تأثیرگذار بر رشد و نمو گیاهان می‌باشد. تلاش‌های زیادی جهت القا مقاومت از طریق اصلاح کلاسیک و حتی روش‌های مدرن انتقال ژن و تولید گیاهان تراریخته مورداستفاده قرارگرفته است (۷)، اما موفقیت تولیدات تجاری از این روش‌ها قابل‌توجه نبوده است. پیوند سبزی‌ها می‌تواند یکی از روش‌های تجاری تولید گیاهان مقاوم به تنش با هزینه‌های پایین‌تر باشد (۱۲). در راستای نتایج زو و همکاران (۳۰) که افزایش مقاومت به تنش و تولید توده زنده بیش‌تر با افزایش جذب و توسعه ریشه‌ها در خیارهای پیوند شده بر روی پایه هندوانه را مشاهده کردند، در پژوهش حاضر نیز پیوند سبب افزایش وزن‌تر و خشک در ریشه‌ها و شاخساره گردید. برخلاف نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش که محتوای پتاسیم در گیاهان پیوندی نسبت به گیاهان غیرپیوندی کاهش یافت در پژوهش زو و همکاران (۳۰) مقاومت به تنش با افزایش محتوای پتاسیم برگ‌ها رابطه مستقیم داشت که این امر می‌تواند ناشی از تفاوت توانایی پایه‌در جذب یون پتاسیم از خاک باشد. در پژوهشی دیگر وضعیت یون‌ها و به دنبال آن پتانسیل آب برگ‌ها در گوجه‌فرنگی تحت تأثیر پیوند قرار نگرفت (۹) در پژوهش حاضر نیز احتمالاً به دلیل کاهش توانایی جذب پتاسیم در گیاهان پیوندی توانایی تنظیم پتانسیل اسمزی نیز کاهش‌یافته و به دنبال آن پتانسیل آب برگ نیز کاهش می‌یابد. در پژوهش انجام‌گرفته اثرات ساده پیوند بر درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز، میزان فنول، پروتئین کل و محتوای پرولین برگ‌ها تفاوت معنی‌داری را نشان نداد این امر می‌توانند به دلیل توانایی پایه فرو در تولید این مواد سازگار و فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی باشد. پایه های مورداستفاده می‌تواند اثرات متفاوتی را در میزان القا مقاومت داشته باشند همانند نتایج به‌دست‌آمده در پژوهشی دیگر نیز غلظت مواد سازگار و قندهای محلول در خیارهای پیوند شده تحت تأثیر پایه قرار نگرفت (۲۹) اما در پیوند خیار بر روی پایه کدو برگ‌انجیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی افزایش یافت که برخلاف نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش می‌باشد که این امر ناشی از تفاوت پایه‌ها می‌باشد (۱۳). طیف وسیعی از خصوصیات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی تحت تأثیر پیوند و اثرات متقابل پایه و پیوندک قرار می‌گیرند. برخی از این ویژگی‌ها سبب بهبود روابط آبی گیاه و رشد و نمو گیاه در شرایط تنش می‌گردد (۱۴).



شکل ۱۱- تغییرات گل خیار تحت تاثیر تنش خشکی و پیوند. ND0: غیر پیوندی و خشکی صفر مگاپاسکال، ND1: غیرپیوندی و خشکی ۰/٤- مگاپاسکال ، ND2: غیرپیوندی و خشکی ۰/۸- مگاپاسکال، GD0: پیوندی و خشکی صفر مگاپاسکال، GD1: پیوندی و خشکی ۰/٤- مگاپاسکال ، GD2: پیوندی و خشکی ۰/۸- مگاپاسکال

Figure 11- Flowers changes under grafting and drought stress in cucumber. ND0: Non-grafting and arought 0 MPa, ND1: Non-grafting and Drought -0.4 MPa, ND2: Non-grafting and drought -0.8 MPa, GD0: grafting and drought 0 MPa, GD1: grafting andd -0.4 MPa, GD2: grafting and drought -0.8 MPa

همانند نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر که شاخص‌های تبادلات گازی همانند فتوسنتز، تعرق و هدایت روزنه‌ای در گیاهان غیرپیوندی از گیاهان پیوندی پایین‌تر بود در پژوهشی دیگر نیز نرخ تثبیت کربن دی کسید در شرایط تنش در گیاهان پیوند نشده خیار به‌طور معنی‌داری از گیاهان پیوند شده کم‌تر بوده است که این کاهش را ناشی از توانایی پایین‌تر گیاهان غیرپیوندی در تنظیم روابط آبی گیاه دانسته‌اند. در پژوهش انجام‌گرفته وزن‌تر و خشک شاخساره و وزن خشک‌ریشه‌ها تحت تأثیر سطوح خشکی قرار نگرفت اما وزن‌تر ریشه در تیمار ۰/۸- مگاپاسکال تا ۳۶ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت این امر می‌توانند ناشی از افزایش موقتی رشد ریشه‌ها در شرایط تنش برای جذب آب بیش‌تر و حفظ پتانسیل اسمزی در گیاه تحت شرایط تنش آبی باشد (۴). در پژوهش حاضر پتانسیل آب برگ در تیمار ۰/۴- مگاپاسکال تفاوت معنی‌داری را نسبت به شاهد نشان نداد اما در تیمار خشکی ۰/۸- مگاپاسکال بیش از ۸۰ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. این امر می‌تواند نمایانگر این موضوع باشد که خیار می‌تواند تا حد پتانسیل آب ۰/۴- مگاپاسکال بدون ایجاد اختلالی در روابط آبی گیاه تحمل نماید. در پژوهشی دیگر کاهش پتانسیل آب را به دلیل بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تبخیر و تعرق و جذب آب دانسته‌اند (۲۰). ازآنجایی‌که پتاسیم یک عنصر متحرک در گیاه می باشد و با جریان آب در آوند چوبی حرکت می‌کند در پژوهش حاضر با کاهش پتانسیل آب و در هر دو تیمار خشکی از محتوای آن در گیاه کاسته شد که این امر ممکن است ناشی از کاهش توانایی جذب و انتقال این عنصر باشد (۱۷). درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای فنول کل تحت تأثیر سطوح خشکی قرار نگرفت اما میزان پرولین در هر دو تیمار خشکی به یک‌میزان نسبت به شاهد افزایش یافت. در پژوهشی نشان داده‌شده است که پرولین یکی از مواد سازگار جهت تعادل پتانسیل اسمزی و به دنبال آن جذب آب بیش‌تر در گیاه می‌باشد که می‌تواند یکی از مکانیسم‌های سازگاری گیاه به شرایط تنش باشد (۱۷). در پژوهش حاضر شاخص‌های تبادلات گازی از قبیل فتوسنتز، تعرق، هدایت روزنه‌ای و مزوفیلی، کارایی مصرف آب فتوسنتزی، پروتئین کل و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و پراکسیداز تحت تأثیر سطوح خشکی اعمال‌شده قرار نگفتند اما بالاترین مقدار شاخص سبزینگی با ۳۲ درصد افزایش نسبت به شاهد در خشکی ۰/۸- مگاپاسکال مشاهده گردید. قابل ذکر است که افزایش فتوسنتز به دو دلیل عوامل فتوسنتزی و محیطی می باشد با توجه به اینکه در این تحقیق با وجود افزایش میزان کلروفیل فتوسنتز کاهش داشته، نشان می‌دهد که عوامل محیطی تحت تنش خشکی بر کاهش میزان فتوسنتز بیشتر تاثیر داشته است. این پدیده ممکن است به دلیل کافی نبودن سطوح خشکی برای تحت تأثیر قرار دادن فعالیت‌های فتوسنتزی و آنتی‌اکسیدانی در گیاهان باشد. در مقایسه

اثرات متقابل پیوند و سطوح خشکی سطوح خشکی تفاوت معنی‌داری را در میزان وزن‌تر و خشک شاخساره و وزن‌تر ریشه‌ها ایجاد نکردند اما پیوند سبب افزایش قابل‌توجهی در این شاخص‌ها گردید. در پژوهشی بر روی گوجه‌فرنگی‌های تحت شرایط تنش گیاهان پیوند شده با افزایش مقاومت گیاه عملکرد بیش‌تری را تولید کردند (۹). میزان وزن خشک‌ریشه‌های پیوندی به‌طور قابل‌توجهی از گیاهان غیرپیوندی بیش‌تر بود اما در خشکی ۰/۸- مگاپاسکال وزن خشک‌ریشه‌های غیرپیوندی با گیاهان پیوندی برابری کرده است که این امر ممکن است ناشی از رشد بیش‌تر ریشه‌های موئین به‌منظور جذب آب بیش‌تر توسط گیاه باشد. در گزارشی دیگر دلیل این امر را پایین بودن غلظت یون‌های موجود در شاخساره گیاهان غیرپیوندی تحت تنش دانسته‌اند که منجر به رشد بیش‌تر ریشه‌ها می‌گردد (۱۶). در پژوهش حاضر فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاهان غیرپیوندی از گیاهان پیوندی بیش‌تر بوده است و به نظر می‌رسد که مکانیسم افزایش تحمل به تنش خشکی از گیاهان پیوندی از طریق افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان و ترکیبات فنولی نباشد. با افزایش معنی‌دار پرولین در گیاهان پیوندی در مقایسه با گیاهان غیرپیوندی و همچنین افزایش بیش‌تر پتاسیم در خشکی ۰/۸- مگاپاسکال در گیاهان پیوندی در مقایسه با گیاهان غیرپیوندی به نظر می‌رسد که مکانیسم تحمل به خشکی اعمال‌شده پایه‌ها از طریق حفظ تعادل اسمزی و برقراری هموستازی پتاسیم می‌باشد که از این طریق پتانسیل درون گیاه را منفی‌تر از خاک کرده و به افزایش جذب آب از طریق ریشه‌ها کمک می‌نماید (۱۷ و ۱). بیش‌ترین مقدار پتانسیل اسمزی برگ‌ها در تیمار فاقد خشکی و ۰/۴- مگاپاسکال و در گیاهان غیرپیوندی مشاهده شد و در سایر تیمارها کاهش یافت. احتمالاً به دلیل تیمار خشکی و تحت تأثیر قرار گرفتن جریان تبخیر و جذب آب توسط گیاه کاهش‌یافته و به دنبال آن پتانسیل آب برگ نیز کاهش می‌یابد (۱۴). در پژوهشی دیگر مشاهده‌شده است که در گیاهان پیوندی با کاهش هدایت روزنه‌ای و به دنبال آن کاهش میزان کربن دی‌اکسید زیر روزنه‌ها فتوسنتز کاهش می‌یابد (۴) احتمالاً به همین دلیل و همچنین کاهش کم‌تر پتانسیل اسمزی در پژوهش حاضر تحت شرایط خشکی میزان هدایت روزنه‌ای، تعرق و فتوسنتز در گیاهان غیرپیوندی بالاتر است؛ اما هدایت مزوفیلی تحت تأثیر پیوند و سطوح خشکی اعمال‌شده قرار نگرفت. کم‌ترین مقدار کارایی مصرف آب فتوسنتزی در تیمار شاهد غیرپیوندی با ۴۶ درصد کاهش نسبت به شاهد پیوندی مشاهده شد و در سایر تیمارهای این شاخص افزایش یافت. ازآنجایی‌که کارایی مصرف آب فتوسنتزی حاصل تقسیم شدت فتوسنتز به تعرق می‌باشد این امر احتمالاً به این دلیل است که فتوسنتز آن‌چنان تحت تأثیر تیمارهای خشکی قرار نگرفته است (۱۵). در پژوهش حاضر پروتئین کل و فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی کاتالاز تحت تأثیر تیمارهای اعمال‌شده قرار نگرفتند. برخلاف آن‌ها فعالیت آنزیم پراکسیداز حداکثر فعالیت را در تیمارهای شاهد پیوندی و ۰/۴- مگاپاسکال× غیرپیوندی و حداقل مقدار با ۶۰ درصد کاهش نسبت به شاهد غیرپیوندی در خشکی ۰/۸- مگاپاسکال غیرپیوندی دیده شد. احتمالاً در پژوهش حاضر افزایش حفظ فتوسنتز بالاتری در گیاهان غیرپیوندی به دلیل فعالیت پراکسیداز می‌تواند باشد؛ زیرا در پژوهشی دیگر مشاهده‌شده است که تحت شرایط تنش با احیا بیش‌ازاندازه زنجیره انتقال الکترون آسیب‌های فتوسنتزی رخ می‌دهد و به دنبال آن چرخه ROS فعال می‌گردد. آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی با از بین بردن رادیکال‌های آزاد به حفظ فعالیت سیستم غشاها و فتوسنتز کمک می‌کند (۲).

نتیجه‌گیری

در بسیاری از کشورهای آسیایی سال‌هاست که پیوند سبزی‌ها با موفقیت انجام می‌گیرد. در این پژوهش دیده شد که انتخاب پایه مناسب می‌تواند روشی کم‌هزینه و کارا در القا مقاومت به تنش‌های زیستی و غیر زیستی باشد. می‌توان از پیوند به‌عنوان یک تکنیک کارآمد جهت افزایش مقاومت بوته‌های خیار نسبت به تنش خشکی (اعمال شده توسط پلی اتیلن گلایکول) استفاده کرد. بدیهی است پایه مناسب می‌تواند از طریق القای مقاومت به تنش سبب افزایش عملکرد اقتصادی خیار نیز گردد.

منابع

1- Albacete A., Martínez-Andújar C., Ghanem M.E., Acosta M., Sánchez-Bravo J., Asins M.J., Cuartero J., Lutts S., Dodd I.C., and Pérez-Alfocea F. 2009. Rootstock-mediated changes in xylem ionic and hormonal status are correlated with delayed leaf senescence, and increased leaf area and crop productivity in salinized tomato. Plant Cell and Environment 32: 928-938.

2- Ashraf M. 2009. Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers. Biotechnology Advances 27: 84-93.

3- Bates L., Waldren R.P., and Teare I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil 39: 205-207.

4- Chance B., and Maehly A.C. 1955. Assay of catalases and peroxidase. Methods in Enzymology 2: 764-775.

5- Chaumont F., and Tyerman S.D. 2014. Aquaporins highly regulated channels controlling plant water relations. Plant

Physiology 113: 233791.
6- Chaves M.M., Flexas J., and Pinheiro C. 2009. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. Annals of Botany 103: 551-560.
7- Cuartero J., Boların M.C., Asıns M.J., and Moreno V. 2006. Increasing salt tolerance in the tomato. Journal of Experimental Botany 57: 1045-1058.
8- Ding L., Gao C., Li Y., Zhu Y., Xu G., Shen Q., Kaldenhoff R., Kai L., and Guo Sh. 2015. The enhanced drought tolerance of rice plants under ammonium is related to aquaporin (AQP). Plant Science 234: 14-21.
9- Estan M.T., Martinez-Rodriguez M.M., Perez-Alfocea F., Flowers T.J., and Bolarin M.C. 2005. Grafting raises the salt tolerance of tomato through limiting the transport of sodium and chloride to the shoot. Journal of Experimental Botany 56: 703-712.
10- Ganjali A., Porsa H., and Bagheri A. 2011. Assessment of Iranian chickpea (*Cicer arietinum* L.) germplasms for drought tolerance. Agricultural Water Management 98: 1477-1484.
11- García-Sánchez F., Syvertsen J., Gimeno V., Botía P., and Perez-Perez J.G. 2007. Responses to flooding and drought stress by two citrus rootstock seedlings with different water-use efficiency. Physiologia Plantarum 130: 532-542.
12- Goreta S., Bucevic-Popovic V., Selak G.V., Pavela-Vrancic M., and Perica S. 2008. Vegetative growth, superoxide dismutase activity and ion concentration of salt-stressed watermelon as influenced by rootstock. The Journal of Agricultural Science 146: 695-704.
13- Huang Y., Tang R., Cao Q., and Bie Z. 2009a. Improving the fruit yield and quality of cucumber by grafting onto the salt tolerant rootstock under NaCl stress. Scientia Horticulturae 122: 26-31.
14- Huang Y., Zhu J., Zhen A., Chen L., and Bie Z.L. 2009b. Organic and inorganic solutes accumulation in the leaves and roots of grafted and ungrafted cucumber plants in response to NaCl stress. Journal of Food, Agriculture and Environment 7: 703-708.
15- Karaba A., Dixit S., Greco R., Aharoni A., Trijatmiko K.R., Marsch-Martinez N., Krishnan A., Nataraja K. N., Udayakumar M., and Pereira A. 2007. Improvement of water use efficiency in rice by expression of HARDY, an Arabidopsis drought and salt tolerant gene. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 104: 15270-15275.
16- Martinez-Rodriguez M.M., Estan M.T., Moyano E., Garcia-Abellan J.O., Flores F.B., Campos J.F., Al-Azzawi M.J., Flowers T.J., and Bolarín M.C. 2008. The effectiveness grafting to improve salt tolerance in tomato when an ‘excluder’ genotype is used as scion. Environmental and Experimental Botany 63: 392-401.
17- Munns R., and Tester M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology 59: 651-681.
18- Rouphael Y., Cardarelli M., Colla G., and Rea E. 2008. Yield, mineral composition, water relations, and water use efficiency of grafted mini-watermelon plants under deficit irrigation. Horticultural Science 43: 730-736.
19- Sanders P.L., and Markhart A.H. 1992. Interspecific grafts demonstrate root system control of leaf water status in water-stressed Phaseolus. The Journal of Experimental Botany 43: 1563-1567.
20- Satisha J., Prakash G.S., Bhatt R.M., and Sampath Kumar P. 2007. Physiological mechanisms of water use efficiency in grape rootstocks under drought conditions. International Journal of Agricultural Research 2: 159-164.
21- Schwarz D., Rouphael Y., Colla G., and Venema J.H. 2010. Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses: Thermal stress, water stress and organic pollutants. Scientia Horticulturae 127: 162-171.
22- Serraj R., and Sinclair T.R. 1996. Processes contributing to N_2-fixation intensitivity to drought in the soybean cultivar Jackson. Crop Science 36: 961-968.
23- Sharp R.E., Poroyko V., Hejlek L.G., Spollen W.G., Springer G.K., Bohnert H.J., and Nguyen H.T. 2004. Root growth maintenance during water deficits: physiology tofunctional genomics. The Journal of Experimental Botany 55: 2343-2351.
24- Sing R.P., Chidambara Murthy K.N., and Jayaprakash G.K. 2002. Studies on the antioxidant activity of pomegranate peel and seed extracts using in vitro models. The Journal of Agricultural and Food Chemistry 50: 81-86.
25- Tanji K.K. 1990. Nature and extent of agricultural salinity.p. 537-582. In ED. k. k. TAnji.(ed). Agricultural Assessment and Management. American Society of Civil Engineers, New York.
26- Turner N.C. 2003. Adaptation to drought: lessons from studies with chickpea. Indian Journal of Plant Physiology 11-17. (Special Issue)
27- Uhrits R. 1974. Effect of the osmotic Pressure on water absorption germination of alfalfa seeds. American Journal of Botany 33: 278-285.
28- Yu L., Haley S., Perret J., Harris M., Wison J., and Qian M. 2002. Free radicalscavenging properties of wheat extracts. Agricultural and Food Chemistry 50: 1619-1624.
29- Zhong Y.Q., and Bie Z.L. 2007. Effects of grafting on the growth and quality of cucumber fruits. Acta Horticulturae 761: 341-347.
30- Zhu J., Bie Z.L., Huang Y., and Han X.X. 2008. Effect of grafting on the growth and ion concentrations of cucumber seedlings under NaCl stress. Soil Science and Plant Nutrition 54: 895-902.

Journal of Horticultural Science
Vol. 34, No.4, Winter 2021, P. 577-591
ISSN: 2008 - 4730

نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، ص. ۵۹۱-۵۷۷
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

Improving Physiological Characteristics of Grafted Cucumber under Drought Stress

M. Haghighi[1*]- A. Sheibanirad[2]
Received: 26-06-2019
Accepted: 12-010-2020

Introduction: Plants are constantly faced with abiotic and biotic stresses during their whole life. Abiotic stresses are various adverse environmental factors, including drought, high salinity, heavy metals, cold or heat shock, and ozone. Resulting in dehydration and osmotic stress, drought has caused a dramatic reduction in crop production globally. Grafting can reduce the content of Malondialdehyde (MDA); prevent the accumulation of reactive oxygen species (ROS); increase activities of antioxidant enzymes; and maintain fresh and dry weights, grain yield, and relative water content in a variety of plants in response to drought stress. On the other hand, a range of abiotic and biotic elicitors can confer tolerance to drought stress in plants. Grafting of herbaceous fruit vegetables can reduce detrimental effects of biotic and abiotic challenges and cultural practices. Grafting can increase yield of cucurbits, initiate shoot growth, aid in resistance against nematodes and viruses, withstand high and low temperatures, improve nutrient and water absorption, resist against high concentration of salt, drought and waterlogging stresses. Grafting elite commercial cultivars onto selected vigorous rootstocks is a special method of adapting plants to counteract environmental stresses. Grafting is currently regarded as a rapid alternative tool to the relatively slow breeding methodology for increasing the environmental-stress tolerance of fruiting vegetables. Potential approach to reduce losses in production and improve water use efficiency under drought conditions in high-yielding genotypes would be to graft these varieties onto proper rootstocks capable of reducing the effect of water stress on the shoot and to increase tolerance to abiotic stresses. Cucumber (*Cucumis sativus* L.) is one of the main greenhouse vegetable crops widely grown in Saudi Arabia. The total greenhouse area for cucumber production in 2013 was 2605 hectares produced 236,087 tons. Major factor influencing growth and yield of cucumber is water quantity. The effects of different rootstocks on plant growth, yield, fruit quality and water consumption in cucumber was studied. The highest yield was obtained from 9075 (19.02 kg m2), which was 24.5 and 23.5% higher than in the non-grafted and self-grafted treatments, respectively. The plant height also increased with the use of rootstocks. The increase in the dry weights of the leaves and fruits depended on rootstocks. They concluded that grafting improved plant growth and yield depending on the rootstock genotype. Grafting has the potential to be as a strategy to increase the tolerance of plants to promote water use efficiency (WUE). The present study was aimed to evaluate the grafting biochemical and physiological effects on inducing drought stress resistance in cucumber.

Materials and Methods: This experiment was conducted in complete randomized design with three replications and treatments are included grafted and ungrafted plants, and water potential level 0 (control), -0.4 and -0.8 MP. The Isfahan endemic cucumber specious as a scion with the hole method grafted on Ferro rootstock. The physiological and growth traits were measured. Photosynthesis (stomata conductance, photosynthesis, water use efficiency), growth (root and stem growth), and antioxidants (SOD, POD, protein) parameters, and transpiration were measured.

Results and Discussion: Result indicated that grafting with increasing root nutrient absorption and its development drought stress resistance improved. Although, grafting reduced potassium content. Grafting and the interaction of rootstock ×scion impressed many morphological and physiological characteristics. Under stress condition, some features improved plant water relationship, growth and development. Gas exchange indices like photosynthesis, transpiration and stomatal conductance were lower in grafted plant compare to ungrafted plants. Proline content was significantly increased in grafted treatments compare to ungrafted ones. Higher potassium under -0.8 MP in grafted plants showed the maintenance osmotic stability and potassium hemostasis were the draught stress mechanism in resistant rootstocks.

Conclusion: Finally, grafting as an efficient method to increase cucumber yield and improve drought

---

1 and 2- Associate Professor and Ph.D. Student, Department of Horticulture, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, respectively.
(*- Corresponding Author: Email: mhaghighi@cc.iut.ac.ir)
DOI: 10.22067/jhorts4.v34i4.81113

resistance recommend. These results suggest that the use of drought tolerant *Cucurbita* rootstock can improve cucumber photosynthetic capacity under drought stress and consequently crop performance. The results revealed that grafted plants had better vegetative growth than ungrafted (control) ones. Furthermore, photosynthetic parameter, antioxidant activity and fresh and dry weight of stem and leaves were improved, but grafting had no significant effect on fruit quality and yield. In conclusion it is recommended that grafting procedure in some crops include cucumber should be done only after assuring the benefits and risks of grafted seedlings.

Keywords: Antioxidant enzyme, Gas exchange, Greenhouse vegetable